

УДК 551.24(571.56)

ВАРИАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ КАК ОТРАЖЕНИЕ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОЛЕКМО-СТАНОВОЙ ЗОНЫ

С.В. Трофименко, Н.Н. Гриб, В.М. Никитин

Технический институт (филиал) ГОУ ВПО «ЯГУ», г. Нерюнгри
E-mail: urovsky@yandex.ru

Представлены основные результаты наблюдений за естественным электромагнитным полем Земли в регионе Южной Якутии. Проведен анализ вариаций в связи с землетрясениями Олекмо-Становой сейсмической зоны.

Ключевые слова:

Геофизика, электромагнитное поле, вариация, прогноз землетрясений, Олекмо-Становая зона.

Введение

Переходная зона от Байкальского рифта к Олекмо-Становой орогенной области представляется одной из уникальных площадок для проведения геофизического эксперимента по определению пространственно – временных масштабов проявления сейсмического процесса в геофизических полях и, следовательно, для комплексной отработки технологии поисков предвестников землетрясений. Задача оценки степени сейсмической опасности для данной территории при катастрофических землетрясениях магнитудой $M7$ и более является одной из важнейших составляющих проблемы современной геофизической науки. Актуальность её диктуется нарастающей динамикой природных и техногенных катастроф, интенсификацией освоения природных ресурсов. В связи с этим практическая направленность научных исследований – снижение сейсмических рисков принимает черты необходимости. Поиск закономерностей развития сейсмического процесса включает в себя три самостоятельных направления исследований:

- геофизический мониторинг для выделения периодов повышенной сейсмической опасности и определения интервала времени происхождения сейсмического события;
- анализ сейсмического режима с прогнозом места будущего землетрясения в пространственном интервале;
- комплекс геолого-геофизических исследований с физико-математическим моделированием для оценки возможной суммарной высвобожденной энергии тектонического землетрясения.

Моделированием сейсмического режима Олекмо-Становой зоны был установлен детерминировано-вероятностный характер сейсмотектонических процессов [1]. Наряду с существованием закономерных периодов сейсмической активности на одном энергетическом уровне имеют место квазистационарные случайные распределения в статистике эпицентров землетрясений и их повторяемости во времени. Изучение данных закономерностей и является основой при поиске предвестников землетрясений и предметом системы прогноза землетрясений.

Данная проблема (прогнозирование сейсмической опасности) имеет как собственно научный аспект, так и экономическую и социальную составляющие. Экономический аспект имеет один нюанс: если будут установлены периоды повышенной (пониженной) сейсмической опасности, то в соотношении со временем технологических процессов можно будет дифференцированно устанавливать верхний предел сейсмической активности для данного периода. Иными словами, если отработка месторождения (любого другого технологического процесса) проектируется в течение, например, 50 лет в зоне возможных 9-ти бальных землетрясений (по карте ОСР – 97), а сейсмическая активность находится в минимуме (в максимуме), то характер принимаемых решений будет различным.

Геофизический мониторинг геологической среды – одно из основных направлений геодинимических исследований, который позволяет дистанционно отслеживать процессы в земной коре. Пионерные работы А.А. Воробьева, его теоретические разработки, лабораторные и полевые эксперимен-

ты по изучению сейсмоэлектромагнитных явлений позволили установить физическую природу электромагнитного излучения (ЭМИ) горных пород в их естественном залегании в условиях изменяющегося деформационного процесса земных недр [2, 3]. В этой связи, представляют несомненный интерес результаты натурных наблюдений за аномальными вариациями импульсного электромагнитного поля Земли (ЭМИ – ИЭМПЗ) в сейсмоактивном регионе Южной Якутии.

Результаты экспериментальных исследований

Место наблюдения. Район исследований охватывает западную часть южной окраины Алданского щита Сибирской платформы и сопряженную с ним северную окраину позднеархейско-раннепротерозойской Становой складчатой системы, разделенных Становым (или Южно-Алданским) швом (рис. 1). В сейсмическом плане данный район по ряду признаков выделен в самостоятельную область, так называемую Олекмо-Становую сейсмическую зону (ОСЗ) [4].

В пределах района широко распространены продукты мезозойской тектоно-магматической активизации, образующие несколько протяженных поясов, параллельных друг другу и Становому шву, которые накладываются на гетерогенный раннедокембрийский фундамент. Они представлены поясом гранодиоритовых батолитов Станового хребта, Южно-Алданской системой впадин, выполнен-

ных мощными (до 3 км) угленосными толщами юры и неокома, субщелочными и щелочными вулканическими и интрузивными образованиями триасово-раннемелового возраста, широко распространенными на южной окраине Алданского щита. Эти зоны в совокупности соответствуют активной континентальной окраине мезозойского возраста [5]. Расположение пунктов наблюдений выбрано с учетом активности современных тектонических структур: в зоне влияния Южно-Якутского надвига (1 – рис. 1) и южной ветви Северо-Станового разлома (2 – рис. 1), к которым приурочены два сильных землетрясения Южной Якутии: Тас-Юряхское 1967 г. и Южно-Якутское 1989 г. с магнитудами М7 и М6,6 соответственно, а также землетрясения 2005–2007 гг.

Основные результаты. Инструментальные наблюдения за вариациями электромагнитного поля в Южной Якутии проводятся с 1987 в связи с задачей изучения предвестников землетрясений и поиска наиболее информативных из них. В 1987–1990 гг. измерения проводились интегральным методом измерения напряженности электромагнитного излучения (ЭМИ) с использованием для измерений селективного вольтметра в комплекте с колечной резонансной антенной $f_{рез} = 12$ кГц с записью выходного сигнала на самопишущий потенциометр КСП-4. В 2004–2007 гг. – по технологии [6] регистрации количества импульсов импульсного электромагнитного поля Земли (ИЭМПЗ). Исторически данные направления исследований успешно использова-



Рис. 1. Структурно-тектоническая карта территории Южной Якутии: 1) юрские отложения кайнозойских впадин; 2) кристаллические комплексы Алданского щита; 3) различные типы разломов; 4) область сильных землетрясений Южной Якутии; 5) пункты наблюдений «Нерюнгри» и «Иенгра»

лись на различных геодинамических полигонах [3, 7]. За время наблюдений отмечено 3 периода повышенной сейсмической активности в ОСЗ: в 1989 г. и 2005–2007 гг. Аномальные изменения в электромагнитных полях, предвещающие землетрясения с энергией более 10^{13} Дж в эти периоды, были ассоциированы с сеймотектоническими процессами в земной коре [8–11].

Произошедшее землетрясение 20.04.89 г. с энергией $E=10^{16,5}$ Дж ($K=\lg E=16,5$ – энергетический класс землетрясения) позволило сопоставить аномальные суточные вариации ЭМИ с динамикой афтершоковых последовательностей (рис. 2). Изменение напряженности ЭМИ в моменты, предвещающие главное событие 20 апреля 1989 г. и его основные афтершоки 24 и 29 апреля, а также 7 и 17 мая проявилось в виде увеличения амплитуды сигналов в течение нескольких суток до события. Погрешность прогноза времени события составила ± 2 сут. без указания на характер самого землетрясения: магнитуды, энергетического класса, интенсивности и места события [8, 9]. В течение второго цикла измерений в 2004–2007 гг. в ОСЗ отмечено два периода повышения сейсмической активности. В первом периоде произошло два землетрясения с энергией $E=10^{15,7}$ Дж – 10.11.2005 и $E=10^{14,8}$ Дж – 11.12.2005, во втором – также два землетрясения с энергией $E=10^{14,6}$ Дж – 03.03.2007 и $E=10^{14,2}$ Дж – 13.03.2007. Во всех четырех случаях имели место аномальные суточные вариации ИЭМПЗ (рис. 3, 4), зарегистрированные аппаратурой МГР-1 [6] в каждом из двух пунктов измерений (Нерюнгри, Иенгра), в зоне влияния Северо-Станового разлома и Южно-Якутского надвига (рис. 1) [10, 11].

Основные результаты геофизических исследований заключаются в следующем.

- Первая серия аномалий 1989 г. зарегистрирована общей группой предвещающей основное событие (рис. 2). Первый и второй афтершоки не отмечены аномалиями ЭМИ. Третий афтершок ($K=13,7$) отмечен аномалиями (вторая серия), аналогичными главному толчку. Четвертый афтершок ($K=13,3$) сопровождался аномалиями, разделенными нормальным суточным фоновым уровнем (серии 3, 4). Аналогичная ситуация проявилась и перед пятым афтершоком ($K=14,8$): аномалия, длительностью около 7 сут., прерывается двух суточным интервалом фоновой интенсивности ЭМИ (серии 5, 6).
- В 2005 г. (рис. 3) аномальные амплитуды суточного хода 17-22 октября не сопровождалось сейсмическим событием (серия 1). Первое землетрясение ($K=15,7$) предвещалось серией аномалий, в максимуме интенсивности 15-тикратно превышающих нормальный фоновый уровень. После землетрясения в течение 2-х недель вплоть до 28.11.2005 наблюдались аномальные амплитуды суточного хода на фоне многочисленных низкоэнергетических ($K<10$) сейсмических событий. Перед афтершоками $K=12,5$ и

$K=14,8$ изменения ИЭМПЗ были аналогичными (серии 4, 5). Следует отметить, что за два месяца до основного события (в сентябре) зарегистрирована аномалия с трехкратным превышением интенсивности сигнала в течение 5-ти суток относительно фоновому уровню с отдельным всплеском 17.09.2005 г. В заключительной стационарной фазе землетрясения не произошло.

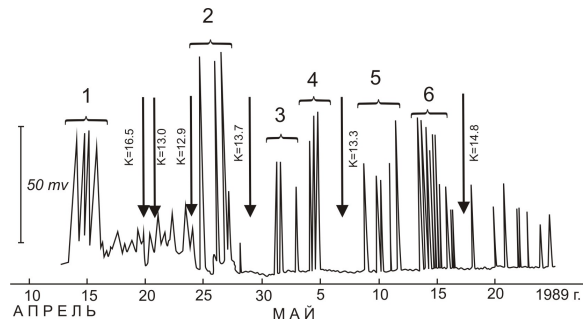


Рис. 2. Изменения напряженности ЭМИ в апреле-мае 1989 г. в период Южно-Якутского землетрясения и его афтершоков. Стрелками отмечены моменты сейсмических событий с указанием энергетических классов, скобками выделены серии аномалий с указанием их порядковых номеров

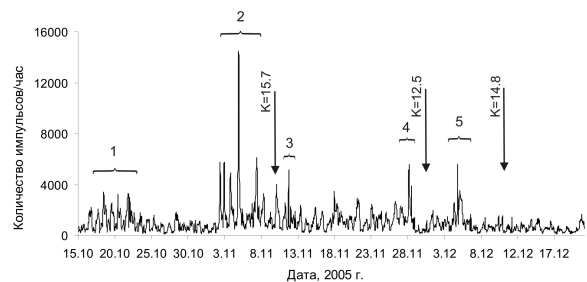


Рис. 3. Вариации ИЭМПЗ в пункте наблюдений «Нерюнгри» с 15.10. по 21.12. 2005 г. в период действия афтершоков землетрясения с энергией в очаге $E=10^{14,6}$ Дж. Обозначения аналогичны рис. 1

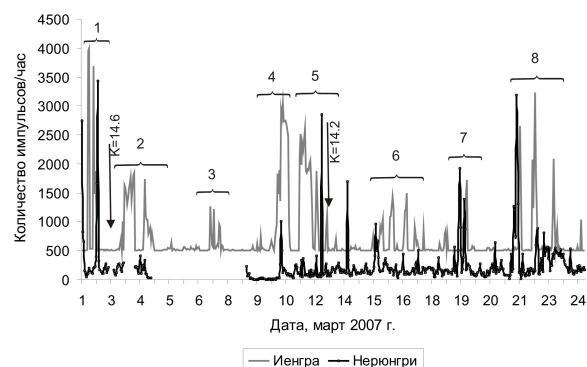


Рис. 4. Вариации ИЭМПЗ в пунктах наблюдений «Иенгра-Нерюнгри» с 1 по 25 марта 2007 г. в период действия афтершоков землетрясения с энергией в очаге $E=10^{14,6}$ Дж. Обозначения аналогичны рис. 1

- В 2007 г. первая серия аномалий (рис. 4) предвещала землетрясение с энергией в очаге $E=10^{14,6}$ Дж, которая зафиксирована на обоих пунктах наблюдений. Вторая и третья серии аномалий отмечены в пункте «Иенгра» на фоне

многочисленных афтершоков. Четвертая и пятая серии аномалий предварают второе землетрясение с энергией в очаге $E=10^{14.2}$ Дж. Шестая и седьмая серии с незначительными отличиями в пунктах наблюдений отмечены на фоне афтершоковых последовательностей второго землетрясения. Практически синфазные аномальные изменения ИЭМПЗ (8 серия) не сопровождались землетрясением. До рассматриваемого периода наблюдений в феврале были выделены аномальные амплитуды с выходом в нормальное поле к 01.03.2007 г. без сейсмического события.

Следует отметить, что каталоги землетрясений России выходят с запозданием в два года. Поэтому значения энергии сейсмических событий 2007 г. из оперативного каталога не являются окончательными и будут уточнены в 2009 г.

Анализ результатов измерений

Детальное рассмотрение временных изменений геофизических полей вследствие сейсотектонических процессов привело к необходимости решения двух задач: поиску корреляционных зависимостей «аномалии ЭМИ – землетрясение» и определению предельного радиуса (сферы) влияния тектонических процессов на формирование геофизических предвестников землетрясений. Сложности интерпретации, которые при этом возникают, связаны с тем, что число групп аномальных сигналов ЭМИ-ИЭМПЗ больше, чем число землетрясений и, следовательно, при наличии явных предвестников землетрясений нет возможности детерминированного прогноза событий. Это указывает на то, что аномалии ЭМИ в условиях современной активной геолого-тектонической структуры не являются достаточным (100 %) признаком возможного повышения сейсмической активности. Вероятность наступления события (отношение числа прогнозных аномалий к общему числу зарегистрированных аномалий) оценивается как 3/4, или 75 %. В этой связи имеет смысл рассмотреть возможные варианты появления аномалий ЭМИ – ИЭМПЗ в соответствии с полученными результатами экспериментальных наблюдений.

1. Привлекая модель сейсмического процесса в блоковой среде [12], можно предположить, что аномалии ЭМИ должны проявляться дважды: в период консолидации блоков на начальной стадии формирования очага землетрясения и в период потери устойчивости консолидированных систем блоков, т. е. в периоды наибольшего упруго-кинематического взаимодействия между блоками. Учитывая данные о наблюдениях наклонов в период Южно-Якутского землетрясения (рис. 5) можно заключить, что процесс накопления энергии упругих деформаций и процесс разгрузки среды не симметричны относительно главного события.

Следовательно, первые предвестники будут регистрироваться задолго до землетрясения, так как временной интервал от первых аномалий ЭМИ –

ИЭМПЗ до момента землетрясения должен зависеть от скорости накопления упругих деформаций. Повторные аномалии могут проявляться как непосредственно перед событием, так и после него, т. к. измерения проводятся не в очаге, а на его периферии, а консолидированная область может начать разрушаться с любой точки (наличие форшоков землетрясения). Например, график аномальных наклонов (рис. 5) показывает, что в момент Южно-Якутского землетрясения деформационный процесс в пункте регистрации (около 70 км от очага) продолжался в виде накопления упругих деформаций (положительный наклон) и только после суточного интервала времени начался нестационарный процесс снятия напряжений. Таким образом, аномалии ЭМИ, выделенные в 1989 г., могут быть разложены по составляющим: афтершоку 28 апреля соответствует две группы аномалий с 27 апреля по 3 мая; афтершоку 7 мая – две группы аномалий с 4 по 11 мая; афтершоку 17 мая – с 12 по 25 мая. Характер изменения суточных аномалий ИЭМПЗ в 2005 и 2007 гг. аналогичен вариациям ЭМИ 1989 г., например, серии аномалий 2 – 3 (рис. 3) соответствуют основному событию с $K=15,7$.

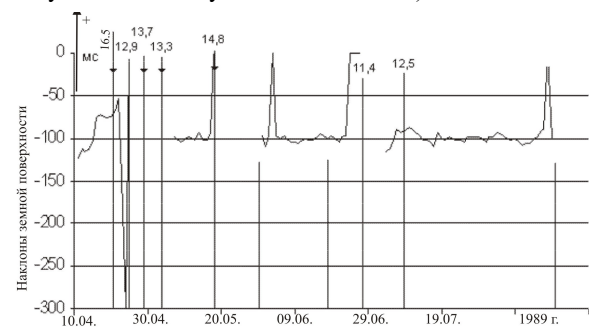


Рис. 5. Остаточные наклоны в период Южно-Якутского землетрясения в апреле 1989 г. и его афтершоков. Стрелками отмечены основное событие ($K=16,5$) и афтершоки. Цифры – энергетический класс землетрясений

2. В работе [13] показано, что даже при трансформации всей энергии очага землетрясения с $E=10^{17}$ Дж в электромагнитную энергию напряженность ЭМИ на дневной поверхности будет меньше фоновой составляющей. Следовательно, регистрируемые аномалии являются следствием приповерхностного взаимодействия блоков земной коры при их относительном перемещении вблизи пункта наблюдения и определяются физическими свойствами горных пород, вещественным составом, характером движения по разлому. Размер области, формирующей аномалии ЭМИ, дополнительно зависит от затухания электромагнитной волны, распространяющейся над проводящей средой (разломом). Подтверждением сейсотектонической природы аномалий ИЭМПЗ может служить отличительный характер их проявления в разных пунктах наблюдений. Например, аномальные изменения интенсивности (количества импульсов) в серии 1 и 4, 5 (рис. 4) выделяются в отдельности по каждому пункту наблюдений, но проявляются в различные

моменты времени. Следовательно (см. выше), данные серии аномалий проявляются как отражение сейсмотектонических процессов. В противоположность этому причиной аномалий серии 8, синфазно проявившихся на обоих пунктах, могут быть региональные либо глобальные источники не тектонической природы.

3. Изучение динамики сейсмических процессов ОСЗ показало, что в течение некоторого времени T_i после крупного землетрясения ($E_i > 10^{13}$ Дж) нарушается структура естественного сейсмического потока событий (рис. 6). От момента землетрясения сейсмогенерирующая область ОСЗ шириной 200 км излучает сейсмическую энергию как локальный очаг землетрясения в течение времени $T_i = f(E_i)$. По шести событиям с энергией больше 10^{13} Дж (значимые сейсмические события) для Олекмо-Становой зоны (с учетом двух Камчатских землетрясений) получена оценка периода релаксационных процессов (рис. 7). Аналитическая зависимость может быть представлена в виде:

$$T \approx 10^{\frac{K-K_0}{m}}, \quad (*)$$

где величина T в сутках, $K_0 \approx 12,27$, $m = \text{tg}(\alpha) \approx 1,63$ (рис. 7). Для землетрясений с энергетическими классами $K=12,9$; $13,3$; $13,7$ и $14,8$ периоды релаксационных процессов, рассчитанные по формуле (*), будут равны соответственно 2,4; 4,2; 7,5 и 34 суток, что дает возможность оценить временной (максимально возможный) интервал проявления предвестников. Для землетрясения 10.11.2005 г. время действия предвестников – 125 дней. Таким образом, группа аномалий между третьей и четвертой сериями (рис. 3) и серии аномалий 2, 3, 6 и 7 (рис. 4) могут быть ассоциированы с нестационарной фазой сейсмического процесса. Повышенные амплитуды суточных вариаций (интервал между сериями 3–4, рис. 3), в данном случае, являются следствием увеличенной подвижности геодинамической системы по активизированным разломам в модели развития сейсмического процесса в блоковой среде [12].

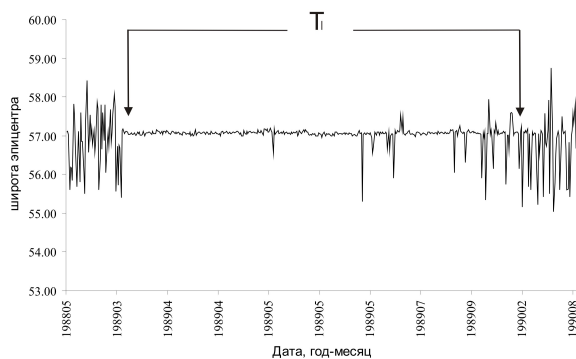


Рис. 6. Изменение широты эпицентров землетрясений ОСЗ в период Южно-Якутского землетрясения 1989 г. Стрелками обозначены моменты начала и окончания нестационарной фазы развития сейсмического процесса

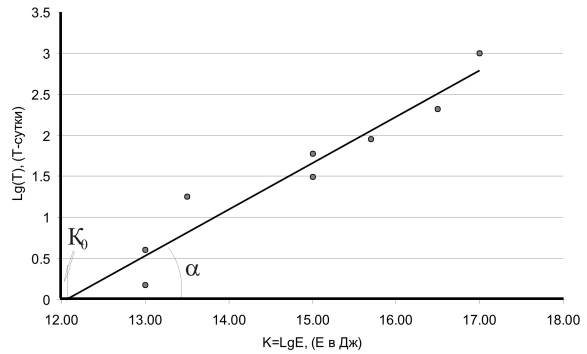


Рис. 7. Зависимость периода нестационарного развития сейсмического процесса от энергии землетрясения

4. В процессе наблюдений неоднократно регистрировались аномалии, не сопровождающиеся землетрясением в области ОСЗ. Закономерен вопрос: могут ли данные аномалии сформироваться под действием геодинамической обстановки на более обширных областях. В работе [14] показано, что в период активизации сейсмической активности в Олекмо-Становой сейсмической зоне в апреле-мае 1989 г. аналогичные изменения (как на рис. 6) происходили как в Сейсмическом поясе Черского (северо-восток Якутии), так и на Камчатке. Повышение сейсмической активности в апреле-мае 1989 г. в Сейсмическом поясе Черского (СПЧ), по характеру проявления распределения энергии землетрясений в период афтершоков землетрясения, произошедшего 23.04.1989 г. с $K=14,0$ и афтершоками 25.04. и 27.04, идентичен закономерностям ОСЗ. В этот период был отмечен рой землетрясений с аналогичным распределением энергии на Камчатке, однако, без сильного землетрясения. Нарушение стационарного потока сейсмических событий происходило 21.04, 02.05, и более длительное – 22.05.1989 г. Таким образом, в апреле-мае 1989 г. мог существовать единый источник как повышенной сейсмической активности, так и непериодических изменений в геофизических полях. Протяженность зоны активизации, вероятно, превышала 3000 км. В июле 2007 г. были зарегистрированы изменения интенсивности ИЭМПЗ с аномальными изменениями в начале и в конце месяца на 300...400 % от нормального уровня амплитуд суточных вариаций. Ни одного сильного землетрясения в ОСЗ в течение месяца не произошло. Повышение сейсмической активности было отмечено в Байкальской рифтовой зоне. Расстояние от эпицентра землетрясения до пункта регистрации составило около 1000 км. Могло ли в действительности землетрясение на таком значительном расстоянии вызвать данные изменения ЭМИ, однозначно ответить не представляется возможным.

Заключение

Полевые исследования вариаций электромагнитного поля (ЭМИ – ИЭМПЗ) показали высокую эффективность данного метода геофизических на-

блюдений для краткосрочного прогноза землетрясений. Перед всеми сильными землетрясениями ОСЗ и их афтершоками с энергией $E \geq 10^{13}$ Дж наблюдались аномальные изменения в суточных вариациях ЭМИ – ИЭМПЗ в виде отдельных серий, что свидетельствует об их сейсмотектонической природе. Результаты экспериментальных исследований дают возможность построения прогнозных функций сейсмической активности. Достоверность прогнозов оценивается на уровне 75 % и связывается с недостаточностью экспериментальной базы. Проведение наблюдений в двух пунктах, расположенных в различных геологических и геодинимических условиях, позволило классифицировать аномалии по их типам «сейсмотектонические – не тектонические».

В рамках теории (модели) сейсмического процесса в блоковой среде сделано предположение, что аномалии ЭМИ – ИЭМПЗ должны появляться дважды: перед землетрясением и после него, к тому же не обязательно симметрично относительно

сейсмического события, так как скорость накопления энергии упругих деформаций и скорость разгрузки среды не одинаковы. Аномальные амплитуды суточных вариаций могут регистрироваться в течение периода нестационарности сейсмического процесса, определенного по формуле (*). Остается не ясным вопрос о природе аномалий, не сопровождающихся сейсмическими событиями в ОСЗ. В этой связи необходимо проведение синхронного глобального эксперимента по регистрации ИЭМПЗ и сейсмического режима по профилю, охватывающему весь Байкало-Становой сейсмический пояс (возможно с выходом на Камчатку), с единой системой регистрации и методикой эксперимента относительно удаленной точки, вынесенной за пределы сейсмоактивной зоны. В результате данных наблюдений возможно установление как параметров сейсмического процесса, так и его отражения в геофизических полях и, следовательно, снижение влияния случайных составляющих в прогнозных функциях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофименко С.В. Проявление землетрясений на фоне стационарного сейсмического процесса Олекмо-Становой зоны (ОСЗ) // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отд. выпуск 3. Якутия, 1. – М.: Изд-во МГГУ, 2007. – С. 208–212.
2. Воробьев А.А. Физические условия залегания вещества в земных недрах. – Томск: Изд-во Томского политехн. ин-та, 1971. – Ч. 1. – 270 с.
3. Воробьев А.А. Равновесие и преобразование видов энергии в недрах. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1980. – 211 с.
4. Имаев В.С., Трофименко С.В., Гриб Н.Н. и др. Разломная тектоника и геодинамика в моделях очаговых зон сильных землетрясений Южной Якутии. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2007. – 273 с.
5. Парфенов Л.М., Натальин Б.А., Попеко Л.И. Тектоника восточной части Монголо-Охотской складчатой системы и природа сопряженных с ней зон мезозойской тектономагматической активизации Алдано-Становой области // Тихоокеанская геол. – 1983. – № 2. – С. 26–33.
6. Шталин С.Г., Малышков С.Ю., Малышков Ю.П., Гордеев В.Ф., Масальский О.К. Автоматизированная станция оперативного прогноза землетрясений (опыт четырехлетней эксплуатации в Прибайкалье) // Физические основы прогнозирования разрушения горных пород: Матер. 1-ой Международ. школы-семинара. – Красноярск, 2002. – С. 324–330.
7. Соболев Г.А., Демин В.М. Механоэлектрические явления в Земле. – М.: Наука, 1980. – 215 с.
8. Козьмин Б.М., Голенецкий С.И., Николаев В.В и др. Южно-Якутское землетрясение 20 апреля 1989 года. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1992. – 43 с.
9. Козьмин Б.М., Голенецкий С.И., Николаев В.В и др. Афтершоки Южно-Якутского землетрясения 20 апреля 1989 г. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1993. – 66 с.
10. Трофименко С.В., Гриб Н.Н., Никитин В.М. Анализ вариаций естественного электромагнитного поля Земли в связи с сейсмичностью Южно-Якутского региона // Проблемы современной сейсмологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии: Матер. совещания. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2007. – Т. 1. – С. 105–107.
11. Трофименко С.В., Гриб Н.Н., Никитин В.М., Муллаяров В.А. Результаты наблюдений за вариациями естественного электромагнитного поля Земли в Южной Якутии // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений: Матер. IV Междунар. конф. 14–17 августа 2007 г., с. Паратунка, Камчатской обл. – Петропавловск-Камчатский: Изд-во ИКИР ДВО РАН, 2007. – С. 453–458.
12. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. – М.: Наука, 1991. – 96 с.
13. Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Похотелов О.А. Сейсмозлектромагнитные явления. – М.: Наука, 1988. – 174 с.
14. Трофименко С.В. Проявление землетрясений и их фор-афтершоков на фоне стационарного сейсмического процесса // Проблемы современной сейсмологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии: Матер. совещания. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2007. – Т. 2. – С. 171–175.

Поступила 21.04.2008 г.